

# VI CONGRESO IBÉRICO de AgroIngeniería

5 a 7 de Septiembre | 2011  
Universidade de Évora | Portugal



## Obtención de Árboles Tipo para la Gestión del Arbolado Urbano de Santiago del Estero (Argentina)

M.L. Contato-Carol<sup>1</sup>, E. Ayuga-Téllez<sup>2</sup>, M.A. Grande-Ortiz<sup>3</sup>, C. González-García<sup>3</sup>

<sup>1</sup> Facultad de Ciencias Forestales. Universidad Nacional de Santiago del Estero. Avda. Aguirre, 1271. 4200. Santiago del Estero. Argentina. e-mail: [lcontato@unse.edu.ar](mailto:lcontato@unse.edu.ar)

<sup>2</sup> Grupo de Investigación EIPIRMA. Universidad Politécnica de Madrid. ETS Ingenieros Agrónomos. España. e-mail: [esperanza.ayuga@upm.es](mailto:esperanza.ayuga@upm.es)

<sup>3</sup> Grupo de Investigación Tecnologías y Métodos para la Gestión Sostenible (Silvanet). Universidad Politécnica de Madrid. ETS Ingenieros de Montes. España. e-mail: [m.angeles.grande@upm.es](mailto:m.angeles.grande@upm.es) ; [concepcion.gonzalez@upm.es](mailto:concepcion.gonzalez@upm.es) .

### Resumen

El cálculo del valor económico del arbolado urbano, en la mayoría de los métodos de tasación, se basa en las medidas dasométricas del arbolado, los precios de vivero para cada especie y las condiciones estéticas, de salud, adecuación y localización de cada árbol en el entorno urbano. En la ciudad de Santiago del Estero se han contabilizado 226 especies diferentes de árboles, así como un gran número de ejemplares que dificultan las labores de gestión, medición y tasación que requiere el arbolado urbano. En este trabajo se han empleado técnicas de análisis estadístico multivariante para determinar árboles tipo que representen y agrupen especies y características dasométricas. El método de clasificación supervisada permite obtener funciones discriminantes que agrupan los diferentes árboles de la ciudad en tres clases. En cada clase se selecciona la especie más frecuente en las plantaciones realizadas por la municipalidad. Para asignar un árbol tipo a cada uno de los grupos se ha empleado valores medios de los árboles muestreados. Dichos árboles tipo permiten resumir la diversidad del arbolado de Santiago del Estero.

**Palabras Clave:** Arbolado urbano; gestión municipal; funciones discriminantes, árboles tipo.

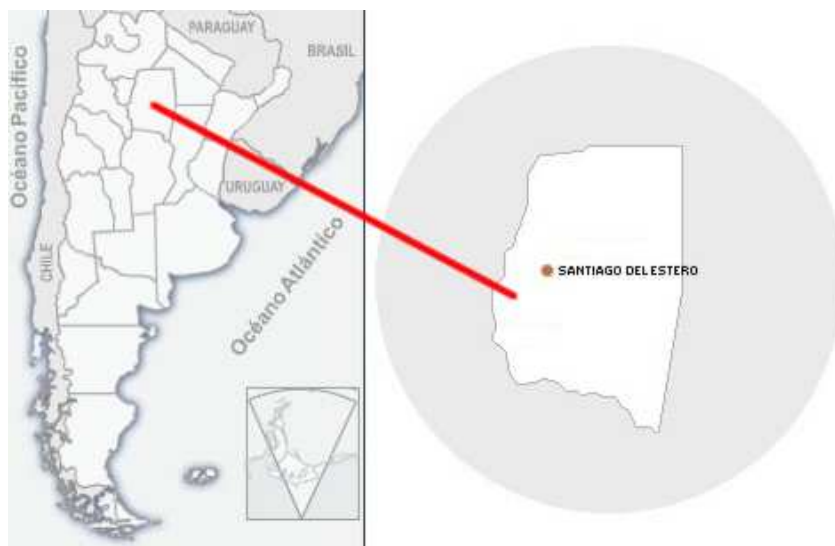
### Abstract

The calculation of the economic value of urban trees on most valuation methods are based on measures dasometrics of trees, nursery stock prices for each species and the aesthetic conditions, health, fitness and location of each tree in urban environment. 226 different species of trees and a large number of individuals per species have been counted in the city of Santiago del Estero. This hampered the work of management, measurement and valuation by urban trees. In this work we have employed multivariate statistical techniques to determine which trees should represent and bring together species and characteristics dasometrics. The supervised classification method allows obtaining discriminant functions that bring together different trees of the city into three classes. The most common species in plantations established by the municipality is selected in each class. To assign a type tree for each of the groups have used average values of the sampled trees. These sample trees to summarize the diversity of trees in Santiago del Estero.

**Keywords:** Urban trees, municipal management, discriminant functions, representative trees.

## 1. INTRODUCCIÓN

La ciudad de Santiago del Estero es la capital de la provincia del mismo nombre, situada al noroeste de la República Argentina, inmersa en la Gran Llanura Chaqueña, sobre la margen derecha del Río Dulce (Fig. 1).



**Figura 1.** Localización de la ciudad de Santiago del Estero, Argentina.

Santiago del Estero posee un clima semiárido; siendo además meso termal. El incremento de temperatura que normalmente se produce en las ciudades por efecto de la absorción de calor de edificios y pavimentos, en Santiago adquiere características notables. En la actualidad, y a pesar de las limitaciones climáticas, la composición florística presente en la ciudad de Santiago del Estero es de origen diverso y presenta una gran variabilidad de especies arbóreas, arbustivas y herbáceas. Se han detectado 226 especies vegetales diferentes; de las cuales, 132 son arbóreas, 73 arbustos erectos y 21 arbustos trepadores. La superficie total de áreas verdes es de 630 has. La cubierta arbórea es de 229,25 has. Expresada en  $\text{m}^2/\text{habitante}$  y por barrio, varía entre 54,6  $\text{m}^2/\text{habitante}$  en los barrios más arbolados, a 3,1  $\text{m}^2/\text{habitante}$  en los menos arbolados (Contato Carol, 2004).

La Municipalidad de Santiago del Estero debe gestionar toda la superficie verde de la ciudad y, además, imponer sanciones cuando se producen daños en el arbolado, ya que en la Ordenanza de Arbolado Urbano (Ord. N° 1580/89) se establecen pautas de gestión y protección del arbolado público. En dicha ordenanza se indica que: “todos los habitantes de la Ciudad están obligados a respetar y conservar el arbolado de la ciudad”, además obliga a la Dirección gestora del arbolado de la ciudad a instituir un baremo de cuantificación de daños, destrucciones y en general contravenciones a la normativa legal. En la Ordenanza Municipal n° 3.823/04 de Santiago del Estero aprobada en 2004 se cuantifican las sanciones aplicadas por la autoridad municipal ante infracciones sobre el arbolado, basándose en valores económicos unitarios de árboles tipo.

La dificultad para gestionar toda la superficie verde de la ciudad y, principalmente, la dificultad de calcular un valor medio por especie o más aún la de dar un valor monetario a cada árbol (Contato-Carol et al., 2008) aconsejan una simplificación que permita determinar un valor medio por unidad dasométrica de cada árbol.

El objetivo de este trabajo es agrupar las especies del arbolado de la ciudad en grupos según las características generales de éstas, el tamaño y la frecuencia con que se encuentran en la población. Se busca una especie representativa de cada grupo; y, para cada una de estas especies, las dimensiones del árbol medio, definido como “árbol tipo”. Las dimensiones del árbol tipo permitirían realizar una valoración de cualquier árbol de la ciudad, tomando como referencia el valor unitario de cada uno de estos árboles.

## 2. MATERIAL Y MÉTODOS

Se han empleado para la determinación de los árboles tipo 99 ejemplares. En todos ellos se disponía de información y mediciones de las variables consideradas. Las variables medidas en los árboles fueron: la altura total alcanzada (h), diámetro normal de fuste (d), superficie horizontal de copa (sc) y la edad del arbolado (t) que se obtuvo mediante el dato directo de los Archivos Municipales de plantación (Ayuga-Téllez et al., 2007).

Se realizó una clasificación inicial de las especies en tres grupos, mediante los valores máximos que podían alcanzar, en su etapa de madurez, las variables dendrométricas: h, d y dc. Se asigna a cada árbol el grupo, que depende de la especie, según la relación de valores que se especifica a continuación.

Se ubicaron como especies integrantes del Grupo (1), aquellas de pequeño porte, las que en su estado adulto pueden alcanzar 4,00 m de altura, diámetros promedio de copa entre 2,5 m y 3,50 m, fustes de diámetros normales comprendidos entre 9,5 cm y 17,5 cm, aunque en la ciudad se observan ejemplares excepcionalmente desarrollados de hasta 7 m de diámetro de copa, 5,5 m de altura y 30 cm de diámetro normal.

En el Grupo (2), se colocaron las de mediano porte, con alturas medias comprendidas entre los 7,00 y 10 m; diámetros promedios de copa entre 3,50 y 8,50 m y fustes entre 28 y 35 cm de diámetro normal. En la ciudad hay también buenos ejemplares que llegan a los 13 m de altura y 11 m de diámetro promedio de copa.

Para el Grupo (3) se dejaron aquellos árboles de gran porte, con alturas que pueden alcanzar los 12- 15 m de altura y copas de diámetros promedio que en ocasiones supera los 20 m.

Con la clasificación inicial anterior, se ha realizado un análisis discriminante (Fisher, 1936) donde la variable de clasificación es el grupo en que se incluyó la especie: el GRUPO 1 de pequeño porte, el GRUPO 2 de porte moderado y el GRUPO 3 de gran porte. Se seleccionaron las funciones discriminantes atendiendo al valor de la aproximación de  $\chi^2$  propuesta por Barlett (1947).

Los valores de las probabilidades “a priori” se asignaron de forma proporcional al porcentaje presente en la muestra.

La valoración del éxito de la clasificación se realizó mediante el porcentaje de árboles correctamente clasificados (Titus et al., 1984).

El estadístico de error  $\tau$  (tau) de Klecka (1980).

$$\tau = \frac{n_c - \sum_{i=1}^3 p_i n_i}{N - \sum_{i=1}^3 p_i n_i} \quad (1)$$

donde N es el número total de observaciones empleadas,

$n_c$  el número de casos correctamente clasificados,  $n_i$  número de casos correctamente clasificados en el grupo i.

$p_i$  la probabilidad “a priori” del grupo i.

El estadístico  $\tau$  tiene en cuenta el número de casos que estarían correctamente clasificados por asignación aleatoria a los grupos, en proporción a las probabilidades asignadas “a priori”. Este valor suele oscilar entre 0 (ausencia de mejora) y 1 (las funciones proporcionan una muy buena clasificación).

Cuando los grupos son de tamaño desigual (Hair et al., 1999), como en este caso, también se puede aplicar un criterio de valoración denominado “criterio de oportunidad proporcional” ( $C_{pro}$ ). El  $C_{pro}$  consiste en calcular la suma de los cuadrados de las proporciones de árboles en cada grupo ( $p_i$ ) y comparar con el porcentaje de casos correctamente clasificados.

$$C_{pro} = p_1^2 + p_2^2 + p_3^2 \quad (2)$$

A continuación se selecciona una especie que pueda representar a la totalidad en cada uno de los grupos, basándose en la producción y salida de las especies de los viveros de la Dirección Municipal de Arbolado Urbano, correspondientes al año 2003 (Expediente n°21.367/2003) y en sus mejores cualidades como especies. Con un total de 1078 árboles de los que se disponía de las variables dasométricas, se contrastó la homogeneidad de las especies tipo seleccionadas con el resto de especies de su grupo, mediante el contraste de comparación de medianas de Man-Witney (Wilcoxon, 1945) y el de Kolmogorov-Smirnov (K-S) para comparación de distribuciones (Young, 1977).

Los valores medios para los árboles de la especie seleccionada permiten obtener las características de los árboles tipo de cada una de las especies tipo.

### 3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

#### Clasificación en grupos mediante análisis discriminante.

La clasificación inicial incluyó en el Grupo (1) 17 especies de pequeño porte: *Sapindus saponaria* L., *Lagerstroemia indica* L., *Citrus aurantium* L., *Ligustrum lucidum* Ait., *Thevetia peruviana* (Pers.) Schum, *Senna bicapsularis* L. et B., *Senna spectabilis* (DC.) L. et B., *Senna corymbosa* L. et B., *Manihot flabelifolia* Pohl y arbustos modificados: *Caesalpinia gilliesii* Benth, *C. pulcherrima* Sw., *Hibiscus rosa-sinensis* L., *H. syriacus* L., *Nerium oleander* L., *Callistemon lanceolatus* D.C. El 7,07% de los 99 árboles de la muestra corresponde a este grupo.

El Grupo (2) está formado por 24 especies de porte moderado: *Tabebuia impetiginosa* Standl., *Tabebuia heptaphylla* Toledo, *Tabebuia lapacho* Sandw., *Tabebuia nodosa* Griseb, *Jacarandá mimosifolia* D. Don., *Brachychiton populneum* R. Br., *Fraxinus pennsylvánica* Marshall, *Bahuinia forficata* Link., *Bahuinia variegata* L., *Leucaena leucocephala* De Wit., *Melia azedarach* L., *Melia azedarach* L., forma *umbraculífera*, *Cassia fistula* L., *Ceratonia siliqua* L., *Cercidium praecox* Harsms., *Erythrina crista-galli* L., *Erythrina corallodendron* L., *E. speciosa* Andr., *Acacia aroma* Gill.ap.Hook et Arn., *Acacia caven* Mol., *Prosopis vinalillo* Stuck., *P. ruscifolia* Griseb., *Parkinsonia aculeata* L., *Zizyphus mistol* Griseb., *Geoffroea decorticans* Hook.et Arn. El 67,66% de los árboles de la muestra corresponde a este grupo.

El Grupo (3) inicial lo forman 25 especies de gran porte: *Tipuana tipu* Benth, *Pterogyne nitens* Tul., *Grevillea robusta* A. Cunn, *Enterolobium contortisiliquum* Morong., *Casuarina cunninghamiana* Miq., *Peltophorum dubium* (Spreng.) Taub., *Ceiba chodattii* Ravenna, *Ceiba speciosa* Ravenna, *Prosopis nigra* Hieron., *Prosopis alba* Griseb., *Schinus molle* L., *Schinus areira* L., *Ulmus pumila* L., *Populus alba* L., *P. deltoides* Marsh., *P. x canadensis* Moench cv. 'I-214', *Salix humboldtiana* Wild., *S. x argentinensis* Rag.et R. Alb, *S. babylonica* L., *Broussonetia papyrifera* (L.) L'Herit., *Ficus benjamina* L., *F. elástica* Roxb., *F. Lyrata* Warb., *Pinus halepensis* Mill. El 27,27% de los árboles de la muestra corresponde a este grupo.

Empleando los 99 árboles muestreados inicialmente y las variables  $h$ ,  $c$ ,  $t$  y  $sc$  se determinaron dos funciones discriminantes significativas (p-valor del estadístico  $\chi^2$  inferior a 0,05) para realizar la clasificación. Dichas funciones discriminantes estandarizadas son:

$$f_1 = 0,90.h + 0,86.c - 0,85.t - 0,13.sc \quad (3)$$

$$f_2 = -0,22.h - 0,23.c + 1,32.t - 0,23.sc \quad (4)$$

La variable que mayor aportación tiene en la primera función discriminante es la altura del árbol y la que menos la superficie horizontal de copa. La edad y la superficie de copa influyen de forma contraria a la altura y el perímetro del tronco.

La segunda función discriminante presenta la edad como la variable más influyente y de signo contrario al resto de variables dasométricas que tienen igual peso en esta función.

*Tabla 1. Tabla de casos correctamente clasificados.*

Asignación	GRUPO	1	2	3
Realidad	Tamaño grupo	0	73	27
1	7	0 (0%)	7 (100%)	0 (0%)
2	65	0 (0%)	63 (96,92%)	2 (3,08%)
3	27	0 (0%)	3 (11,11%)	24 (88,89%)

Inicialmente, el porcentaje de árboles correctamente clasificados es una medida del éxito de este análisis estadístico. En el caso anterior es del 87,88%.

$C_{pro}$  tiene un valor del 51% inferior a 87,88% y  $\tau$  es igual a 76,51%, valor cercano al 100%

Estos valores muestran la validez de las funciones discriminantes para clasificar los árboles de la ciudad en los tres grupos mencionados.

### **Elección de especie representativa de cada grupo.**

Para representar a cada uno de los tres grupos, se han seleccionado las especies presentes con más frecuencia en la ciudad, valorando ésta frecuencia a partir de los datos de archivo del vivero municipal. Además, se ha comprobado que éstas especies reúnen los mejores requisitos que pueden esperarse del comportamiento de un árbol en la vía pública (condiciones intrínsecas o propias de la especie):

- Facilidad de reproducción, cultivo y mantenimiento.
- Mejores condiciones de adaptabilidad al medio urbano.
- Mayor tolerancia a tensiones y agresiones del medio.
- Mayor resistencia a ataques de insectos, hongos, etc.
- Mejor convivencia con otros elementos urbanos; cañerías, cableados aéreos, etc.
- Mayor apreciación por su aspecto, floración y sombra.

Estas condiciones se cumplen para el naranjo agrio (*Citrus aurantium* L.) en el GRUPO 1, con un 15 % de presencia. En el GRUPO 2, el lapacho (*Tabebuia impetiginosa* Standl.) con 12,89 % y la tipa blanca (*Tipuana tipu* Benth) para el GRUPO 3, con 3,79 % (Fig. 2).



a) Naranjo agrio



b) Lapacho



c) Tipa blanca

**Figura 2.** Ejemplares de las especies tipo seleccionadas para cada grupo.

Para validar la especie tipo elegida, los datos empleados fueron las medidas dasométricas  $d$ ,  $h$  y  $sc$  de los 1078 árboles muestreados en la ciudad. Se compararon, para cada grupo, la mediana y la distribución de la totalidad de árboles del grupo con el conjunto de naranjos (en el caso del GRUPO 1), de lapachos (GRUPO 2) y tipas blancas (GRUPO 3). Con un nivel de confianza del 99% en la hipótesis no se puede rechazar la igualdad de las medias o medianas de las variables consideradas, entre la especie tipo y el resto de árboles por grupo. El estadístico de K-S para diferencia de distribuciones en entre los árboles del grupo y la especie tipo no permite rechazar que ambas muestras procedan de la misma distribución, según la adaptación del test a muestras grandes y con un 99% de confianza.

### Elección de árbol representativo de cada grupo.

Por último, la selección de árboles tipo se realiza con los valores medios (calculados con la muestra de 99 árboles) para el conjunto de variables de los que se disponen mediciones. Las características de un árbol tipo por grupo se refleja en la tabla 2.

**Tabla 2.** Características dendrométricas de los ÁRBOLES TIPO de cada GRUPO

VARIABLE	GRUPO 1	GRUPO 2	GRUPO 3
c	23,36 cm	60,15 cm	121,18 cm
d	7,43 cm	19,15 cm	38,57 cm
g	54,7 cm <sup>2</sup>	390,12 cm <sup>2</sup>	1419,93 cm <sup>2</sup>
h	3,02 m	5,87 m	9,064 m
dc	2,3 m	4,74 m	7,737 m
sc	5,07 m <sup>2</sup>	21,49 m <sup>2</sup>	56,223 m <sup>2</sup>
Edad	8 años	20 años	21 años

## 4. CONCLUSIONES

Mediante análisis discriminante de una muestra de árboles se determinaron dos funciones que permiten clasificar de forma automática los árboles de Santiago del Estero, empleando las variables: altura ( $h$ ), el diámetro normal ( $d$ ), la superficie horizontal de copa ( $sc$ ) y la edad del

arbolado (t), basándose en una clasificación supervisada en tres grupos de especies según el porte.

Cada grupo se caracterizó mediante una única especie, la más frecuente de cada grupo presente en las calles de la ciudad y con las características adecuadas, denominadas “especies tipo”.

Cada especie tipo se resume en un “árbol tipo” de dimensiones equivalentes a valores medios de la población.

Los árboles tipo permiten reducir el cálculo del valor unitario a sólo tres casos, frente a la necesidad de obtener información de todas las variables para las diferentes especies.

Por otra parte, el método descrito se puede extrapolar a otras ciudades, recalculando las funciones discriminantes y las distribuciones de frecuencia del diámetro normal.

## 5. BIBLIOGRAFIA

Ayuga-Téllez, E.; Contato-Carol, M. L.; Grande-Ortiz, M<sup>a</sup> A. y González-García, C. (2007) *Análisis multivariante para seleccionar las variables apropiadas para describir y valorar el arbolado urbano. Aplicación a Santiago del Estero (Argentina). Actas del IV Congreso Nacional y I Congreso Ibérico de Agroingeniería*. 4-6 de septiembre del 2007, Albacete.

Bartlett, M. (1947). *Multivariate analysis. Journal of the Royal Statistical Society, Supplement Series B*. 9, 176-197.

Contato-Carol, M. L.; Ayuga-Téllez, E.; Grande-Ortiz, M. A. (2008). *A comparative analysis of methods for the valuation of urban trees in Santiago del Estero, Argentina. Spanish J Agr Res*, 6. (3), 341-352.

Contato Carol, M.L. (2004). *Análisis estadístico multivariante del arbolado urbano de Santiago del Estero (Argentina) y estimación de su valor mediante modelos econométricos*, Tesis Doctoral. ETSI de Montes. UPM.

Fisher, R. A. (1936). *The Use of Multiple Measurements in Taxonomic Problems. Annals of Eugenics*. 7. (2), 179–188.

Hair, J.F., Anderson, R.D., Tatham, R.L. and Black, W.C. (1999). *Análisis Multivariante, Quinta edición en español. Ed. Prentice Hall, Madrid, España*.

Municipalidad de Santiago del Estero. Ordenanza Municipal N° 1580. (1989) *Arbolado Urbano*.

Klecka, W. R. (1980). *Discriminant analysis*. CA: Sage, Beverly Hills,

Municipalidad de Santiago del Estero. Ordenanza Municipal N° 3823 (2004) *De la Cuantificación de las Sanciones*.

Titus, K.; Mosher, J. A. and Williams, B. K. (1984). *Chance-corrected Classification for Use in Discriminant Analysis: Ecological Applications. American Midland Naturalist*. 111. (1), 1-7.

Wilcoxon, F. (1945). *Individual comparisons by ranking methods. Biometrics Bulletin*, 1. (6), 80–83.

Young, I. T. (1977). *Proof without prejudice: use of the Kolmogorov-Smirnov test for the analysis of histograms from flow systems and other sources. J Histochem Cytochem*, 25. (7), 935-941.